



TITLE:

Excitation of secondary Love and Rayleigh waves in a three-dimensional sedimentary basin evaluated by direct boundary method with normal modes( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Hatayama, Ken

---

CITATION:

Hatayama, Ken. Excitation of secondary Love and Rayleigh waves in a three-dimensional sedimentary basin evaluated by direct boundary method with normal modes. 京都大学, 1997, 博士(理学)

ISSUE DATE:

1997-05-23

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/198904>

RIGHT:

|             |  |
|-------------|--|
| 氏 名         | はた やま けん<br>畑 山 健  |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (理 学)  |
| 学 位 記 番 号   | 理 博 第 1861 号   |
| 学位授与の日付     | 平 成 9 年 5 月 23 日   |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当  |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻  |
| 学 位 論 文 題 目 | Excitation of secondary Love and Rayleigh waves in a three-dimensional sedimentary basin evaluated by direct boundary method with normal modes<br>(直接境界要素法を用いた3次元堆積盆地における2次的なラブ波とレーリー波の励起特性の定量的評価) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 入 倉 孝 次 郎      教 授 安 藤 雅 孝      教 授 赤 松 純 平   |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、3次元堆積盆地モデルにおける地震波動場の評価のため、境界要素法に基づく計算手法を開発し、その手法が堆積盆地において特徴的に観測される2次的な表面波の励起特性を定量的に評価するのに有効であることを示した。既往の研究により、このような表面波の観測事例は多くの堆積盆地において蓄積されてはいるものの、未だその励起特性の系統的把握には到っていない。3次元盆地モデルに対する数値計算手法はこれまでに有限差分法、境界要素法、Aki-Larner法によるものが提案されているが、それらは全波動場を計算することを目指したものである。しかし、増幅された直達波や、励起された表面波が盆地内を伝播した結果生ずる反射・回折が含まれた全波動場を計算しても、2次的な表面波の励起だけを論じる目的には不十分である。本研究の目的は、3次元堆積盆地の境界の一部分で励起された2次的な表面波のみを取り出して評価するための数値計算を開発することである。

申請論文では、はじめに3次元堆積盆地モデル全体で励起される2次的な表面波を計算するための手法の定式を行っている。これにより計算される全表面波波動場は、境界の一部で励起された表面波を取り出すために本研究で提案された手法の妥当性の検証に用いられる。定式化は、2つの異なる水平成層構造の媒質が鉛直境界によって区切られているような盆地モデルに対して境界積分方程式を用いている。盆地内の表面波波動場は、ある入射波場を仮定した場合に、境界条件を満足するように求められる鉛直境界上の変位・応力と盆地内の水平成層構造に対する Normal Mode 解を用いて積分方程式の形で表現される。鉛直境界の導入は、表面波波動場のみを計算することを可能にするが、境界の離散化の過程である深さで打ち切られなければならない。境界を単に打ち切った場合には、そこから物理的な波が生じ解の精度を落とす。本研究では、単純な打ち切りの場合には無視される打ち切り点以下の境界上の積分を、堆積盆地がないとした場合の1次元構造に対する解を用いて近似的に補償するという方法を初めて提案し、精度よい解を求めることに成功している。

次に申請論文では、盆地内の全波動場から盆地境界の一部分だけで励起される表面波だけを取り出して評価するための定式化を行っている。ここでは、平面的に閉じた3次元堆積盆地内の全波動場が、盆地境界を2つに分けたときの、各境界間の波動論的相互作用の集合として解釈できるような、空間領域で定義された反射・透過作用素(藤原・竹中, 1994)を用いた無限級数の形で表現できることが示される。この無限級数は、盆地境界の一部分で励起される表面波と解釈できる項を含んでおり、この項のみを評価するには、3次元半空間に半無限に広がる鉛直境界面で区切られた2つの領域を考え、一方の領域は盆地の外側の水平成層構造からなり、もう一方の領域は盆地内部の水平成層構造からなるようなモデルに対して問題を解けばよい。

このような問題を境界要素法において解こうとするとき、半無限に広がる鉛直境界面は離散化の都合上、打ち切られなければならない。ここでも、単純に打ち切った場合には非物理的な波の発生によって、解の精度が落ちるという問題が生じる。本手法では、打ち切りによって無視される半無限領域上の積分を、堆積盆地がないとした場合の2.5次元問題(2次元構造

における3次元波動場を解く問題)に対する解を用いて近似的に補償するという定式化を初めて行っている。この2.5次元問題を解くとき、再び、鉛直境界がある深さで打ち切ることによる問題が生じる。この問題は、1次元構造に対する解を用いた積分の近似的補償により解決される。この鉛直境界打ち切りに対する操作は、平面的に閉じた盆地モデル全体に対する定式化の際に導入した近似処理と本質的に同じ考えに依拠している。以上の手法により、盆地モデル全体に対する表面波波動場から、盆地境界の一部分で励起された表面波を分離して評価することに成功している。

本手法を、弧状の盆地境界を有する単純な盆地モデルに、弦と垂直な方向に進む平面SH波と平面SV波が入射する問題に対して適用した。その結果、斜め入射の場合、SH波入射においては2次的なLove波のみが卓越して励起され、SV波入射においては同程度の振幅のRayleigh波とLove波が励起されることがわかった。また、ほぼ鉛直に入射する場合は、SH波入射におけるLove波励起のみが卓越することがわかった。既往の堆積盆地における観測事例によれば、水平成分については、2次的なLove波の観測例が2次的なRayleigh波のそれよりも圧倒的に多い。本研究における数値実験結果はこの観測事実を説明している。

## 論文審査の結果の要旨

堆積盆地における地震動は、直達波、表面と堆積層下の基盤面での重複反射、盆地端部で励起された2次的な表面波、さらに、それらの波動の盆地境界で反射・回折、などのさまざまな波動が重なり合い、非常に複雑な波形として観測される。各地の堆積盆地におけるこれまでに得られた観測事実としては、直達波に比べて長周期(1秒~十数秒)で大きな振幅の後続波群が特徴的にみられる。この後続波群はアレイ観測記録の解析により、地震波が堆積盆地に入射したときに盆地端部で2次的な表面波が励起されたものと解釈されている。申請論文は、このような盆地内で生ずる複雑な地震学的現象を理論的に解明するために、地震動を構成する種々の波相を個々に評価する数値手法の開発を行った。特に堆積盆地の波動場においては、2次的な表面波の励起特性を定量的かつ系統的に把握することが、まず重要であると考え、数値計算を行っている。

3次元堆積盆地における波動場を計算するための手法は、これまでに差分法、境界要素法、Aki-Larner波などを用いて開発されてきた。しかし、これらの手法は、実際の観測記録を再現しようとする目的のために、全波動場を計算することを主眼を置いており、実際に盆地内で生じる表面波の励起、その盆地境界での反射・回折、などの個々の波動論的現象が波動場にどのように寄与しているかという物理的解釈を計算結果に対して行うには不十分なものであった。本研究で開発された手法は、盆地境界のある一部分を取り出し、その部分でどれだけの表面波が励起され、その表面波がその後どのように伝播し、盆地境界に達したときにどのように反射・回折されて、盆地内の波動場に寄与していくという物理的なプロセスを個々に評価することが可能である。このような観点にたつて堆積盆地における波動場を数値的に評価する手法の開発は、3次元問題においては本研究が初めてである。

本研究では、盆地境界のある一部分で励起された表面波のみを分離して評価しようとする。この表面波は、定式化の上では、空間領域で定義された反射・透過作用素を用いて表現されるため、そのための数値手法としては、空間領域において境界条件をマッチングさせる境界要素法が最適である。ここで、実際にこの分離的評価手法を境界要素法のアルゴリズムで実現するために、離散化の都合上3次元半空間内に半無限に広がる境界面の打ち切り必要となる。それらの境界を単純に打ち切ると、そこからの非物理的な波の発生し、解の精度が落ちてしまうという問題が生じる。

申請論文では、この問題を解決するため、問題とする盆地境界の一部を構成する3次元的不均質性を有する領域から十分離れた領域での境界についてはより単純な地下構造(2次元または1次元的不均質性)に対して求められる解を用いて、単純な打ち切りの場合に無視されてしまう積分を近似的に補償するという定式化を行っている。このような打ち切りに対する近似処理法は、2次元問題に対してはこれまでに提案されてきたが、3次元問題における定式化は、本研究が初めてである。2次元問題においては、境界の横方向の打ち切りのみが問題になるが、3次元問題においては横方向と深さ方向の打ち切りの両方が問題となる。本手法では、まず深さ方向の打ち切りに対して1次元構造に対する解を用いて近似処理を行って2次元構造に対する解を求め、この2次元構造に対する解を用いて3次元構造に対する解を精度よく求めることに成功している。ここで提案している手法は、境界要素法において問題となる境界の打ち切りに対して、一般的な解決策を与えるものであり、例えば、開いた盆地モデルで盆地の境界に位置する活断層に生じる地震による波動場の計算に適用できる可能性

を有している。

申請論文では、ここで開発した手法を、弧状の盆地境界を有する単純な盆地モデルに、弦に対して垂直な方向に進む平面 SH 波と平面 SV 波が入射する問題に対して適用し、それぞれの場合について 2 次的な Love 波と Rayleigh 波の励起特性について定量的な考察を行っている。その結果は、水平成分については 2 次的な Love 波の観測例が 2 次的な Rayleigh 波のそれよりも圧倒的に多いという堆積盆地における観測事実に、理論的な裏付けを与えている。盆地境界で励起される 2 次的表面を分離して評価する試みはこれまでも 2 次元問題においては行われてきたが、以上のような Love 波と Rayleigh 波の励起特性の違いについての知見は、3 次元問題を解くことにより得られるものである。

以上の理由で、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認められる。